

*М. Сандагдорж, Ю. М. Голдобин*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

*e.yu.pavlyuk@urfu.ru*

## О РЕГУЛИРОВАНИИ УРОВНЯ ВОДЫ В БАРАБАННОМ ПАРОВОМ КОТЛЕ

*В работе рассмотрена динамика изменения уровня в барабане парового котла при возмущении расходом пара. Показано, что при работе котла на существенно переменных нагрузках необходимо использовать трехимпульсный регулятор питания котла водой. Приведены кривые разгона котла по уровню воды и структурная схема регулятора с кратким описанием его работы.*

Ключевые слова: *паровой котел; барабан котла; уровень воды; уравнения динамики; регулирование; структурная схема регулятора.*

*M. Sandagdorj, Y. M. Goldobin*

Ural federal university, Ekaterinburg

## ON THE WATER LEVEL REGULATION IN THE DRUM STEAM BOILER

*The paper considers the dynamics of changes in the level in the drum of a steam boiler when there is a disturbance in steam consumption. It is shown that when the boiler operates at substantially variable loads, it is necessary to use a three-pulse regulator of the boiler water supply. The boiler acceleration curves for water level and a block diagram of the regulator with a brief description of its operation are given.*

Keywords: *steam boiler; boiler drum; water level; dynamic equations; regulation; block diagram of the regulator*

При работе парового котла выдача пара потребителю требует непрерывного пополнения испарительной системы котла питательной водой. Нарушение материального баланса между расходом поступающей воды и расходом отбираемого пара приводит к

изменению запаса воды в котле. Количество воды при работе котла оценивается по уровню её в барабане. Отклонение уровня за допустимые пределы приводит к аварийным режимам работы котла: при упуске уровня нарушается режим циркуляции воды в испарительной системе и возможен перегрев некоторых подъемных труб, а при перепитке котлов (чрезмерное повышение уровня) возможен заброс воды в пароперегреватель, что может вывести его из строя. Поэтому к точности поддержания уровня предъявляются жесткие требования (максимально допустимые отклонения уровня не должны превышать  $\pm 70 \div 100$  мм от нормативного значения).

В испарительной системе котла под «зеркалом испарения» (то есть видимым уровнем) находится пароводяная смесь. Количество пузырьков пара зависит от давления в барабане котла (и распределения его в испарительной системе). При увеличении расхода пара давление в испарительной системе уменьшается, вода оказывается перегретой по отношению к новому давлению, избыток теплоты расходуется на её испарение, что приводит к появлению дополнительных пузырьков пара под «зеркалом испарения». Объем пузырьков увеличивается, что приводит к повышению видимого уровня воды в барабане (явление «набухания»). При уменьшении расхода пара это проявляется в обратную сторону (уменьшение уровня). На уровень воды в барабане сказывается и небаланс между подачей воды  $W$  и расходом пара из котла  $D$ .

Можно считать, что общее изменение уровня воды складывается из изменения двух уровней ( $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2$ ), где  $\Delta H_1$  – зависит от небаланса ( $W - D$ ), а  $\Delta H_2$  – от «набухания».

При небольших давлениях и незначительно изменяющихся нагрузках (котлы малой мощности) «набухания» практически нет ( $\Delta H_2$ ) и на уровень влияет только небаланс. Тогда динамика изменения уровня может быть описана уравнением в безразмерном виде

$$T_1 \frac{d\varphi}{dt} = \mu - \lambda, \quad (1)$$

где  $T_1 = \frac{F(\rho' - \rho'')\Delta H_{\max}}{D_{\max}}$  – постоянная времени;  $\rho'$ ,  $\rho''$  – плотности

воды и сухого насыщенного пара;  $F$  – площадь «зеркала испарения»;

$$\varphi_1 = \frac{\Delta H_1}{H_{\max}}; \mu = \frac{\Delta W}{D_{\max}}; \lambda = \frac{\Delta D}{D_{\max}}; \Delta H_{\max}, D_{\max} – \text{базовые величины.}$$

Из (1) следует, что барабан котла как объект регулирования уровня, является идеальным интегрирующим звеном (астатический объект). Решение уравнения (1) приводит к линейному изменению уровня с течением времени (рис. 1). На этих котлах достаточно установить одноимпульсный регулятор уровня, который измеряет уровень.

При существенных изменениях расхода пара проявляется «набухание» уровня, который устанавливается на новом значении при установлении нового давления в испарительной системе, то есть динамика изменения уровня  $\Delta H_2$  может быть описана уравнением инерционного звена первого порядка в безразмерном виде

$$T_2 \frac{d\varphi_2}{dt} + \varphi_2 = k_2 \lambda, \quad (2)$$

где  $T_2$  – постоянная времени;  $k_2$  – коэффициент передачи;  $\varphi_2 = \frac{\Delta H_2}{H_{\max}}$ .

Величины  $k_2$  и  $T_2$  могут быть численно определены по экспериментально снятым кривым разгона по уровню при возмущении расходом пара.

Из рис. 1 видно, что «набухание» проявляется только в течение времени  $T_n$ , а в дальнейшем определяющим будет небаланс, то есть в целом объект будет астатическим. В этом случае применять одноимпульсный регулятор нельзя, поскольку он, реагируя на увеличение уровня при «набухании», будет увеличивать разбаланс. Необходимо перейти к трехимпульсному регулятору, вводя дополнительные импульсы по возмущениям (расходу воды и расходу пара). Схема регулятора представлена на рис. 2.

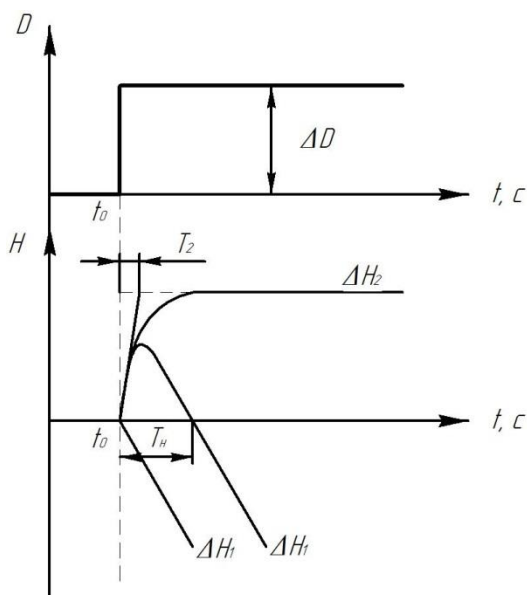


Рис. 1. Кривые разгона по уровню:  
 $t_0$  – момент нанесения возмущения;  
 $T_n$  – время набухания

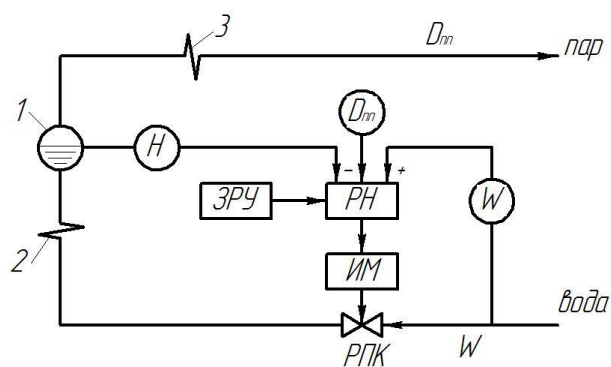


Рис. 2. Принципиальная схема регулятора уровня:  
 $H, D_{\text{пн}}, W$  – датчики уровня, расходов пара и воды; РН – регулятор;  
 ЗРУ – задатчик ручного управления;  
 ИМ – исполнительный механизм;  
 РПК – регулирующий питательный клапан; 1, 2, 3 – барабан, экономайзер и пароперегреватель

В установившихся режимах расходы  $W = D$  и сигналы от датчиков компенсируются, так как они включены встречно ( $\pm$ ). Регулятор работает только по уровню. При небалансе между датчиками появляется разбаланс ( $W - D$ ) и регулятор включается в сторону восстановления баланса, после достижения которого регулятор опять работает по уровню, восстанавливая заданное значение.